



(10) **DE 10 2016 218 851 A1** 2018.03.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 218 851.8**

(22) Anmeldetag: **29.09.2016**

(43) Offenlegungstag: **29.03.2018**

(51) Int Cl.: **G06T 7/40 (2017.01)**
G06K 9/62 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Conti Temic microelectronic GmbH, 90411
Nürnberg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2014 / 0 161 323	A1
EP	2 993 654	A1

(72) Erfinder:

Walter, Michael, Dr., Heerbrugg, CH

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verdichtung eines optischen Flussfeldes zur Detektion von Objekten aus Bildern einer Kamera**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erkennung von Objekten aus Bildern einer Kamera und kann insbesondere bei kamerabasierten Fahrerassistenzsystemen verwendet werden.

Das Verfahren zur Detektion von Objekten aus einer Folge von Bildern einer Fahrzeugkamera umfasst die Schritte:

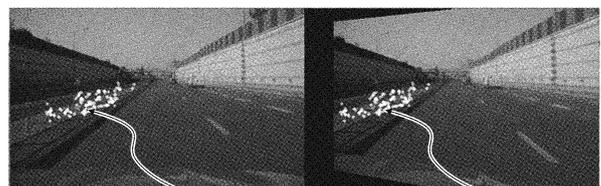
a) Aufnahme einer Folge von Bildern mit der Fahrzeugkamera,

b) Ermittlung von korrespondierenden Merkmalen in zwei aufeinander folgenden Bildern,

d) Zuordnung ermittelter benachbarter korrespondierender Merkmale in einem Bildbereich zu einer Ebene im Raum, und

f) Bestimmung zusätzlicher korrespondierender Merkmale in dem Bildbereich unter Berücksichtigung der zugeordneten Ebene.

Die Erfindung bietet den Vorteil einer Verdichtung des optischen Flussfeldes.



85

86

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung von Objekten aus Bildern einer Kamera und kann insbesondere bei kamerabasierten Fahrerassistenzsystemen verwendet werden.

[0002] Fahrzeugerkennungssysteme nach dem aktuellen Stand der Technik sind meist klassifikationsbasiert. Klassifikationsbasierte Systeme können Fahrzeuge bzw. Fahrzeugkomponenten wiedererkennen, die sie in ihren Trainingsdaten gesehen haben. Neue Fahrzeugdesigns, sowie sich verändernde Aufbauten können jedoch zu einer stark reduzierten System Performance führen und fordern generische Ansätze zur Objekterkennung.

[0003] EP 2 993 654 A1 zeigt ein Verfahren zur Frontkollisionswarnung (FCW) aus Kamerabildern. Hierbei wird ein Bildausschnitt analysiert, wohin das eigene Fahrzeug in einem vorgegebenen Zeitintervall gelangen wird. Sofern dort ein Objekt erkannt wird, wird eine Kollisionswarnung ausgegeben.

[0004] US 2014/0161323 A1 zeigt ein Verfahren zur Erzeugung dichter dreidimensionaler Strukturen in einer Straßenumgebung aus Bildern, die mit einer Monokamera aufgenommen werden.

[0005] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Detektion von Objekten anzugeben.

[0006] Ein Ausgangspunkt der Erfindung sind die folgenden Überlegungen: Sind die Kamerapositionen zweier Frames (Einzelbilder) bekannt, lassen sich Punkt-Korrespondenzen (korrespondierende Merkmalspunkte) triangulieren, aber es werden keine Objekte generiert, da die Triangulation über kein Modelwissen verfügt, das eine Punktwolke in sinnvolle Objekten clustern könnte.

[0007] Nachteile monokularer Systeme sind, dass Objekte nahe dem Epipol nur ungenau trianguliert werden können und sich dort kleinste Fehler in der Egomotion (Kamera-Eigenbewegung) bemerkbar machen. Als Epipol bezeichnet man den Bildpunkt in einem ersten Kamerabild, an dem das Zentrum der Kamera zu einem zweiten Zeitpunkt abgebildet wird. Während einer Geradeausfahrt entspricht z.B. der Fluchtpunkt dem Epipol. Dies ist jedoch der relevante Bereich, um Kollisionen mit stehenden bzw. vorausfahrenden Fahrzeugen zu erkennen. Dynamische Objekte können trianguliert werden, wenn sie sich gemäß der Epipolar-Geometrie bewegen. Sie werden jedoch aufgrund der nicht bekannten Relativgeschwindigkeit zu nah oder zu weit entfernt geschätzt.

[0008] Werden anstelle einzelner Korrespondenzen, mehrere (benachbarte) Korrespondenzen (korrespondierende Merkmale) betrachtet, lassen sich Objekte aufgrund unterschiedlicher Geschwindigkeiten, Skalierungen und Deformation segmentieren.

[0009] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Detektion von Objekten aus einer Folge von Bildern einer Fahrzeugkamera umfasst die Schritte:

- a) Aufnahme einer Folge von Bildern mit der Fahrzeugkamera,
- b) Ermittlung von korrespondierenden Merkmalen in zwei aufeinander folgenden Bildern,
- d) Zuordnung (benachbarter) ermittelter korrespondierender Merkmale in einem Bildbereich zu einer Ebene im Raum, und
- f) Bestimmung zusätzlicher korrespondierender Merkmale in dem Bildbereich unter Berücksichtigung der (in Schritt d)) zugeordneten Ebene.

[0010] Bevorzugt ist die Fahrzeugkamera zur Aufnahme einer Umgebung eines Fahrzeugs ausgebildet. Bei der Umgebung handelt es sich insbesondere um die vor dem Fahrzeug liegende Umgebung. Vorzugsweise ist die Fahrzeugkamera in eine Fahrerassistenzvorrichtung integrierbar oder mit dieser verbindbar, wobei die Fahrerassistenzvorrichtung insbesondere zur Objekterkennung aus den von der Fahrzeugkameravorrichtung bereitgestellten Bilddaten ausgebildet ist. Bevorzugt ist die Fahrzeugkameravorrichtung eine im Innenraum des Kraftfahrzeugs hinter der Windschutzscheibe anzuordnende und in Fahrtrichtung gerichtete Kamera. Besonders bevorzugt ist die Fahrzeugkamera eine monokulare Kamera.

[0011] Bevorzugt werden mit der Fahrzeugkamera zu bestimmten bzw. bekannten Zeitpunkten Einzelbilder aufgenommen, woraus sich eine Folge von Bildern ergibt.

[0012] Als Korrespondenz wird die Entsprechung eines Merkmals in einem ersten Bild zu demselben Merkmal in einem zweiten Bild bezeichnet. Korrespondierende Merkmale in zwei Bildern können auch als Flussvektor

beschrieben werden, der angibt wie sich das Merkmal im Bild verschoben hat. Ein Merkmal kann insbesondere ein Bildausschnitt (bzw. Patch), ein Pixel, eine Kante oder eine Ecke sein. Unter Schritt d) wird auch subsummiert, dass eine Mehrzahl von Ebenen im Raum vorgegeben wird, und eine Zuordnung von (benachbarten) korrespondierenden Merkmalen zu jeweils einer der vorgegebenen Eben vorgenommen wird (vgl. unten Schritt d2) bzw. d3)).

[0013] Der Begriff „Ebene“ beschreibt im Kontext der vorliegenden Erfindung folgende Zusammenhänge: einerseits ein Kriterium zur Akkumulation benachbarter korrespondierender Merkmale. D.h. diese werden als zusammengehörig angesehen, wenn sie in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen und sich entsprechend der Bewegung der Ebene zeitlich entwickeln. Derart akkumulierte korrespondierende Merkmale werden anschließend als z.B. „Bodenebene“ bezeichnet, da sie alle in der Ebene, die der Fahrbannebene entspricht liegen. Jedoch erstreckt sich eine solche Bodenebene nicht ins Unendliche, sondern meint einen Teilbereich der Ebene, nämlich den, in dem tatsächlich korrespondierende Merkmale angeordnet sind.

[0014] In Schritt f) meint die Formulierung „unter Berücksichtigung...“, dass die in Schritt d) korrespondierenden Merkmalen in einem Bildbereich zugeordnete Ebene bei der Bestimmung zusätzlicher korrespondierender Merkmale berücksichtigt wird. Dies kann beispielsweise in der Art geschehen, dass anhand von wenigen korrespondierenden Merkmalen in einem Bildbereich eine Bewegung der zugeordneten Ebene bestimmt bzw. berechnet wird und dann präzisiert wird, wo Merkmale desselben Bildbereichs in einem ersten Bild infolge der Bewegung der zugeordneten Ebene in einem (nachfolgenden) zweiten Bild aufzufinden sein werden. Mit Hilfe dieser Prädiktion werden zusätzliche korrespondierende Merkmale ermittelt.

[0015] Mit der Formulierung „Detektion von Objekten“ kann also beispielsweise eine Generierung von Objekt-hypothesen bzw. Objekten gemeint sein.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren den Schritt:

c) Berechnung von Homographien für die ermittelten korrespondierende Merkmale in einem Bildbereich, damit diese einer Ebene im Raum zugeordnet werden können.

Eine Homographie beschreibt die Korrespondenz von Punkten auf einer Ebene zwischen zwei Kamerapositionen bzw. die Korrespondenz zweier Punkte in zwei aufeinanderfolgenden Bildern der Fahrzeugkamera. Durch die Berechnung von Homographien für die ermittelten korrespondierenden Merkmale in einem Bildbereich kann so die Zuordnung zu jeweils einer Ebene im Raum erfolgen (s. Schritt d)).

[0017] Die Homographien werden bevorzugt generisch aus dem Bild bzw. aus aufeinanderfolgenden Bildern bestimmt. Eine Vorgabe von einem Abstand einer Ebene zur Kameraposition ist typischerweise nicht erforderlich.

[0018] Vorteilhaft umfasst das Verfahren die Schritte:

d2) Zuordnung der ermittelten korrespondierenden Merkmale zu einer von einer Mehrzahl von Ebenen vorgegebener Orientierung im Raum, und

e) Zuordnung zu der Ebene im Raum, die für die ermittelten korrespondierenden Merkmale den kleinsten Rückprojektionsfehler ergibt, wobei der Rückprojektionsfehler den Unterschied an zwischen der gemessenen Korrespondenz eines Merkmals in zwei aufeinanderfolgenden Bildern und dem aus der berechneten Homographie präzisierten Korrespondenz des Merkmals angibt.

Insbesondere anhand der berechneten Homographien können die korrespondierenden Merkmale segmentiert werden, also unterschiedlichen Bildbereichen (bzw. Segmenten) zugeordnet werden. In Schritt f) kann dann eine Bestimmung zusätzlicher korrespondierender Merkmale in einem Bildbereich unter Berücksichtigung der zugeordneten Ebene erfolgen.

[0019] Eine vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens umfasst den Schritt d3): Zuordnung von (benachbarten) korrespondierenden Merkmalen zu jeweils einer Bodenebene, einer Rückwandebene oder einer Seitenwandebene. Im Falle eines Koordinatensystems, bei dem die x-Richtung horizontal bzw. lateral, die y-Richtung vertikal und die z-Richtung in Fahrzeuggängsrichtung verläuft, kann eine Bodenebene normal zur y-Richtung, eine Rückwandebene normal zur z-Richtung und eine Seitenwandebene normal zur x-Richtung vorgegeben werden. Durch eine Berechnung von Homographien einer Bodenebene, einer Rückwandebene und einer Seitenwandebene kann für korrespondierende Merkmale in einem Bildbereich bzw. für jedes korrespondierende Merkmal eine Zuordnung zu einer dieser Ebenen erfolgen. Der Abstand (von der Fahrzeugkamera) insbesondere zu einer Rückwand- oder Seitenwandebene ist vorteilhaft das Ergebnis der Homographieberechnung und nicht etwa eine vorgegebene Annahme.

[0020] Bevorzugt können die Homographien für die Rückwandebene nach Gleichung (10) bzw. für die Bodenebene nach Gleichung (9) bzw. für die Seitenwandebene nach Gleichung (11) berechnet werden. Hierbei sind a , b , c Konstanten, x_0 , y_0 , x_1 , y_1 bezeichnen Korrespondenzen im ersten Bild (Index 0) und zweiten Bild (Index 1) und t_x , t_y , t_z sind die Komponenten des Vektors t/d . t beschreibt die Translation der Fahrzeugkamera und d die Entfernung zu einer Ebene (senkrecht zu dieser Ebene). Die Komponenten t_x , t_y bzw. t_z werden im Folgenden auch als „inverse TTC“ bezeichnet. TTC kommt von ‚Time to collision‘ und ergibt sich in einer Raumrichtung als Abstand geteilt durch Translationsgeschwindigkeit.

[0021] Vorteilhaft können ausgehend von einer bereits ermittelten Aufteilung eines Bildes in unterschiedliche Bildbereiche mit jeweils einer zugeordneten Ebene für ein zweites Bild, erste bzw. wenige einander korrespondierende Merkmale in einem Bildbereich im zweiten und einem nachfolgenden dritten Bild bestimmt werden. Aus diesen ersten bzw. wenigen korrespondierenden Merkmalen wird dann eine Homographie für diesen Bildbereich neu berechnet, und die neu berechnete Homographie wird dazu verwendet, die Position und Form zusätzlicher bzw. weiterer korrespondierender Merkmale im dritten Bild zu präzisieren.

[0022] Bevorzugt können, falls in einem nachfolgenden dritten Bild in einem Bildbereich nicht genügend (erste) korrespondierende Merkmale zur Neuberechnung einer Homographie bestimmbar sind, die für den Bildbereich (anhand des ersten und zweiten Bildes) berechnete Homographie aus dem zweiten Bild dazu verwendet werden, die Position und Form zusätzlicher korrespondierender Merkmale des Bildbereichs im dritten Bild zu präzisieren. Dadurch wird die Korrespondenzfindung robuster gegen Form und Skalenänderungen gestaltet.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann für jeden Bildbereich mit einer zugeordneten Ebene ein aktuelles Bild auf ein vorheriges Bild entsprechend der berechneten Homographie (der zugeordneten Ebene) gewarpt (projiziert bzw. transformiert) werden, um zusätzliche einander im letzten und im aktuellen Bild korrespondierende Merkmale zu bestimmen. Auch diese Ausgestaltung führt zu einer Verdichtung des optischen Flussfeldes.

[0024] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung können, falls mehrere Ebenen mit identischer Orientierung auftreten, die Ebenen mit identischer Orientierung anhand der zugehörigen t_x , t_y , t_z -Werte getrennt werden. Beispielsweise können zwei Rückwandebenen, die in z -Richtung unterschiedlich weit von der Fahrzeugkamera entfernt sind, über unterschiedliche t_z -Werte voneinander unterschieden werden.

[0025] Bevorzugt kann ein Bild durch ein Gitter in gleichartige Zellen unterteilt werden, und für jede Zelle kann aus den darin ermittelten korrespondierenden Merkmalen eine Homographie berechnet werden. Zellen mit übereinstimmender Homographie können anschließend geclustert werden.

[0026] Bevorzugt kann, falls die berechnete Homographie einer ersten Zelle nicht hinreichend mit einer Homographie einer benachbarten Zelle übereinstimmt, zur Ermittlung einer Ebenengrenze vorteilhaft ein sogenannter Rückprojektionsfehler einzelner korrespondierender Merkmale betrachtet werden. Korrespondierende Merkmale können durch den Rückprojektionsfehler bewertet werden. Der Rückprojektionsfehler gibt den Unterschied an zwischen dem gemessenen Fluss und dem aus der berechneten Homographie präzisierten Fluss an. Wird der Rückprojektionsfehler eines korrespondierenden Merkmals in einer ersten Zelle mit den Rückprojektionsfehlern der Homographien der benachbarten Zellen verglichen und dieses korrespondierende Merkmal der Homographie mit dem geringstem Fehler zugewiesen werden, kann die Ebenengrenze (bzw. Segmentgrenze bzw. Clustergrenze) innerhalb der ersten Zelle verfeinert werden. Auf diese Weise können verschiedene korrespondierende Merkmale einer Zelle unterschiedlichen Ebenen zugeordnet werden.

[0027] Bevorzugt kann die Zuordnung von Ebenen zu benachbarten korrespondierenden Merkmalen im Wesentlichen im gesamten Bild der Fahrzeugkamera (z.B. in mindestens 80% der Bildfläche, bevorzugt mindestens 90%) ermittelt werden. Da das erfindungsgemäße Verfahren sehr schnell ausgestaltet werden kann, ist eine generische Objektdetektion bzw. Szeneninterpretation für nahezu das gesamte Bild in Echtzeit möglich.

[0028] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Vorrichtung zur Detektion von Objekten aus einer Folge von Bildern einer Fahrzeugkamera umfassend ein Kamerasteuergerät und eine Auswerteelektronik. Das Kamerasteuergerät ist dazu ausgebildet,

- a) eine Folge von Bildern mit der Fahrzeugkamera aufzunehmen. Die Auswerteelektronik ist dazu ausgebildet,
- b) korrespondierende Merkmale in einem Bildbereich in zwei aufeinander folgenden Bildern zu ermitteln,
- d) die ermittelten korrespondierender Merkmale in einem Bildbereich zu einer Ebene im Raum zuzuordnen, und
- f) zusätzliche korrespondierende Merkmale in dem Bildbereich unter Berücksichtigung der zugeordneten Ebene zu bestimmen.

[0029] Das Kamerasteuerggerät bzw. die Auswertungselektronik können insbesondere einen Mikrocontroller oder -prozessor, einen Digital Signal Processor (DSP), einen ASIC (Application Specific Integrated Circuit), einen FPGA (Field Programmable Gate Array) und dergleichen mehr sowie Software zur Durchführung der entsprechenden Steuerungs- bzw. Auswertungsschritte umfassen. Die vorliegende Erfindung kann somit in digitalen elektronischen Schaltkreisen, Computer-Hardware, Firmware oder Software implementiert sein.

[0030] Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung. Dabei zeigen:

[0031] Fig. 1 schematisch eine typische Deformation einer sich nähernden Rückwandebene;

[0032] Fig. 2 schematisch eine typische Deformation einer sich nähernden Bodenebene;

[0033] Fig. 3 schematisch eine typische Deformation a) einer sich schnell und b) einer sich langsam nähernden oder weiter entfernten Rückwandebene;

[0034] Fig. 4 schematisch eine Unterteilung eines Bildes mit zwei unterschiedlichen Segmenten in Zellen;

[0035] Fig. 5 Segmentierungsergebnisse nach einem dritten Iterationsschritt;

[0036] Fig. 6 Ebenen-Orientierung zur Target Validierung (Validierung potentieller Kollisionsobjekte);

[0037] Fig. 7 Time to Collision-Betrachtung; und

[0038] Fig. 8 Projektion (bzw. Warpen) des Leitplankensegments zum Zeitpunkt t-0 (rechts) auf t-1 (links).

[0039] Einander entsprechende Teile sind in der Regel in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0040] In Fig. 1 ist schematisch eine Rückwandebene (back plane) dargestellt, die zu einem ersten Zeitpunkt t-1 den schraffiert dargestellten Bereich (**20**, gepunktete Linie) einnimmt. Zu einem darauf folgenden Zeitpunkt t hat sich der Abstand zwischen der Fahrzeugkamera und der Rückwandebene verringert, was zu der durch die Pfeile (d1) angedeuteten Deformation des Bereichs (**21**, durchgezogene Linie) der Rückwandebene im Bild führt. Der Bereich (**20**; **21**) skaliert bzw. vergrößert sich infolge der Relativbewegung von der Fahrzeugkamera zu der Rückwandebene.

[0041] In Fig. 2 ist schematisch eine Bodenebene (ground plane) dargestellt, die die zu einem ersten Zeitpunkt t-1 den schraffiert dargestellten Bereich (**30**, gepunktete Linie) einnimmt. Dies könnte ein Abschnitt einer Fahrbahnoberfläche sein, auf der das Fahrzeug fährt. Infolge der Eigenbewegung der Fahrzeugkamera ändert sich der Bereich (im Bild) zu einem darauf folgenden Zeitpunkt t, was zu der durch die Pfeile (d2) skizzierten Deformation des Bereichs (**32**) der Bodenebene führt. Zum Zeitpunkt t begrenzen die mit **32** bezeichneten Linien den Bereich der Bodenebene. Unter der „Bodenebene“ wird hier also ein abgegrenzter Bereich auf der Fahrbahnoberfläche verstanden. Der Randbereich ergibt sich z.B. aus Signaturen (bzw. Randpunkten) auf der Fahrbahnoberfläche, die in der Bilderfolge getrackt werden können.

[0042] Fig. 3 veranschaulicht den Unterschied zwischen einer sich schnell (Fig. 3a: **20**, **21**; Deformation d1) und einer sich langsam (Fig. 3b) nähernden Rückwandebene (**20**, **23**; Deformation d3), falls zum Zeitpunkt t-1 die Rückwandebene (**20**) in Fig. 3a denselben Abstand zur Fahrzeugkamera aufweist wie die Rückwandebene (**20**) in Fig. 3b. Alternativ könnte Fig. 3 den Unterschied zwischen einer nahen Rückwandebene (Fig. 3a: **20**, **21**; Deformation d1) und einer weiter entfernten Rückwandebene (**20**, **23**; Deformation d3) darstellen, die sich z.B. mit derselben (Relativ-)Geschwindigkeit bewegen, dann wäre das in Fig. 3b dargestellte Objekt (**20**, **21**) im realen Raum größer als das in Fig. 3a dargestellte Objekt (**20**, **23**).

[0043] Werden anstelle einzelner Korrespondenzen, mehrere benachbarte Korrespondenzen betrachtet, lassen sich Objekte aufgrund unterschiedlicher Geschwindigkeiten, Skalierungen und Deformation segmentieren.

[0044] Geht man davon aus, dass die Welt aus Ebenen besteht, kann man diese durch Homographien beschreiben und wie im Folgenden gezeigt wird über Ihre Distanz, Geschwindigkeit und Orientierung trennen. Eine Homographie beschreibt die Korrespondenz von Punkten auf einer Ebene zwischen zwei Kamerapositionen bzw. die Korrespondenz zweier Punkte in zwei aufeinanderfolgenden Frames.

$$x_{t0} = H * x_{t1} \text{ mit } x_{t0} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix}, x_{t1} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0045] Eine Homographie kann bildbasiert durch Kenntnis von vier Punkt-Korrespondenzen berechnet werden (vgl. Tutorial: Multiple View Geometry, Hartley, R. and Zisserman, A., CVPR June 1999: <https://de.scribd.com/document/96810936/Hartley-Tut-4up> abgerufen am 26.09.2016). Die auf Seite 6 des Tutorials links oben (Folie 21) angegebenen Zusammenhänge lassen sich in der Notation von Gleichung 1 wie folgt formulieren:

$$\begin{bmatrix} -x_0 & -y_0 & -1 & 0 & 0 & 0 & x_1 x_0 & x_1 y_0 & x_1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_0 & -y_0 & -1 & y_1 x_0 & y_1 y_0 & y_1 \\ & & & & \vdots & & & & \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \\ h_9 \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

$$\text{mit } H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}.$$

[0046] Alternativ kann bei Kenntnis der Kameratranslation t , der Rotation R und der Entfernung d entlang des Normalen Vektors n der Ebene die Homographie nach Gleichung 3 berechnet werden. Gleichung 3 verdeutlicht, dass sich bei einer inversen TTC t/d ungleich Null, Ebenen mit unterschiedlichen Orientierung n modellieren lassen und dass sich Ebenen mit identischer Orientierung n über ihre inverse TTC trennen lassen.

$$H = [R - \frac{t * n^t}{d}] \quad (3)$$

[0047] Eine Homographie lässt sich theoretisch in den Normalen Vektor n , die Rotationsmatrix R und die inverse TTC t/d zerlegen. Leider ist diese Zerlegung numerisch äußerst instabil und empfindlich auf Messfehler.

[0048] Beschreibt man eine Szene durch Ebenen, lässt sie sich wie im Folgenden angegeben segmentieren.

[0049] Fig. 4 zeigt schematisch eine Unterteilung in Zellen (Grid, Gitter/-linien). Die Szene wird in $N \times M$ initiale Zellen unterteilt und jeder Punkt-Korrespondenz wird eine eindeutige ID zugewiesen. Diese ID gibt zunächst die Zugehörigkeit zu einer Zelle an. Im weiteren Verlauf kann die ID die Zugehörigkeit zu einem Cluster oder einem Objekt angeben. Schraffiert ist ein Objekt (insb. eine Rückwandebene) im Vordergrund dargestellt. Der Hintergrund ist weiß dargestellt. Beinhaltet eine Zelle nur ein Objekt (Zellen B3, D3) wird eine Homographie diese Zelle sehr gut beschreiben. Beinhaltet eine Zelle jedoch mehr als ein Objekt (Zelle C3), wird die Homographie keines der beiden Objekte gut beschreiben. Werden die Punkt-Korrespondenzen (schwarzer Punkt bzw. schwarzes Kreuz bzw. x) den Clustern (bzw. Segment) der benachbarten Zellen (B3 bzw. D3) über Ihre Rückprojektionsfehler zugeordnet, wird der schwarze Punkt dem Segment der Zelle B3 und das schwarze Kreuz dem Segment der Zelle D3 zugeordnet, da die Homographie für die Zelle C3 weder den Vordergrund noch den Hintergrund gut beschreibt.

[0050] Ist Vorwissen über eine Szene vorhanden, lassen sich die Segmentgrößen an die Szene anpassen, indem z.B. größere Bereiche im Nahbereich des Fahrzeuges oder in Bereichen mit positiver Klassifikations-Antwort generiert werden. Für jedes Segment wird, wie in den Gleichungen 5 bis 10 gezeigt wird, eine dedizierte Back-/Ground- und Side-Plane-Homographie berechnet.

[0051] Die Berechnung der Back-/Ground- und Side-Plane-Homographie, erhöht die Trennschärfe, da eine Homographie mit weniger Freiheitsgraden Bereiche, die unterschiedliche Ebenen beinhalten, nur schlecht modellieren kann und somit korrespondierende Punkte einen höheren Rückprojektionsfehler aufweisen werden, siehe **Fig. 4**.

$$e = x_{t0} - H_t x_{t1} \quad (4)$$

[0052] Setzt man die statische Einbaulage der Kamera und Kamera Rotation in zwei unterschiedlichen Ansichten als gegeben voraus (z.B. durch Kenntnis der Kamera Kalibration und durch die Berechnung der Fundamental-Matrix in einem monokularen System oder durch Rotationswerte eines Drehratensensor-Clusters), lässt die inverse TTC t/d mittels der um die statische Kamera-Rotation kompensierten Flussvektoren berechnen, wie im Folgenden exemplarisch für eine Ground Plane $n' = [0 \ 1 \ 0]$ gezeigt wird. Ist die Rotation nicht bekannt, kann sie näherungsweise durch eine Einheitsmatrix ersetzt werden. Ersetzt man den Quotienten t/d in Gleichung 3 durch die inverse

[0053] Time to Collision

$$\begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

folgt:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & t_x & 0 \\ R & -0 & t_y & 0 \\ 0 & 0 & t_z & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} - R \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 & t_x & 0 \\ 0 & t_y & 0 \\ 0 & t_z & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} t_x y_1 \\ t_y y_1 \\ t_z y_1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} t_x y_1 \\ t_y y_1 \\ t_z y_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0054] Durch Normierung der homogenen Koordinaten ergibt sich:

$$x_0(c - t_z y_1) = a - t_x y_1 \quad (7)$$

$$y_0(c - t_z y_1) = b - t_y y_1 \quad (8)$$

[0055] Für mehr als eine Messung ergibt sich ein Gleichungssystem der Form $Mx = v$, mit einer Matrix M und einem Vektor v , das sich für mindestens drei Bild-Korrespondenzen durch z.B. eine Singular Value Decomposition (Singularwertzerlegung der Matrix) oder ein Least-Square-Verfahren lösen lässt.

$$\begin{bmatrix} x_0 c - a \\ y_0 c - b \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -y_1 & 0 & y_1 x_0 \\ 0 & -y_1 & y_1 y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (9)$$

[0056] Die Herleitung der Back- und Side-Plane-Homographien erfolgt analog und ergibt.

$$\begin{bmatrix} x_0 c - a \\ y_0 c - b \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_1 & 0 & x_1 x_0 \\ 0 & -x_1 & x_1 y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\text{bzw.} \begin{bmatrix} x_0 c - a \\ y_0 c - b \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & x_0 \\ 0 & -1 & y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0057] Um größere, aus mehreren Zellen bestehende Objekte zu segmentieren, lassen sich in einem weiteren Schritt benachbarte Zellen zusammenfassen, indem die Rückprojektionsfehler

$$\Sigma x_{i_0}^i - H_j x_{i_1}^i$$

bzw. $\Sigma x_{i_0}^j - H_i x_{i_1}^j$ über Stützstellen (siehe unten Punkt 1.: RANSAC) der benachbarten Segmente j und i und deren Homographien berechnet werden. Zwei benachbarte Cluster werden zusammengefasst, falls $\Sigma x_{i_0}^j - H_i x_{i_1}^j$ kleiner $\Sigma x_{i_0}^i - H_j x_{i_1}^i$ ist oder z.B. der auf die prädierte Flusslänge normierte Rückprojektionsfehler unter einer einstellbaren Schwelle liegt. Alternativ lassen sich Rückprojektionsfehler als Potentiale in einem Graph verwenden und eine globale Lösung berechnen. Die Kompaktheit der Cluster lässt sich hierbei über die Kantenpotentiale im Graphen bestimmen.

[0058] Wurden die Segmente zusammengefasst werden die Homographien neu berechnet und die Punkt-Korrespondenzen den Clustern mit geringstem Rückprojektionsfehler zugeordnet. Betrachtet man nur direkt angrenzende Cluster, lassen sich sehr kompakte Objekte generieren. Überschreitet der minimale Fehler eine einstellbare Schwelle, werden den Korrespondenzen neue (Cluster-/Objekt-)IDs zugewiesen, um teilverdeckte Objekte oder Objekte mit leicht unterschiedlicher TTC erkennen zu können. Durch die Einstellung der Schwelle kann die Auflösung (leicht) unterschiedlicher Objekte angepasst werden.

[0059] Die Rückprojektionsfehler lassen sich mit einem Bias versehen, der Kosten für zusammenhängende Bereiche reduziert oder einem Bias, der die Kosten für einen ID-Wechsel erhöht, falls Punkt-Korrespondenzen über eine längere Zeit dieselbe ID-Zugehörigkeit hatten.

[0060] Fig. 5 zeigt ein Beispiel einer Szenensegmentierung: Fig. 5a zeigt ein Bild, das von einer Fahrzeugkamera aufgenommen wurde, die im Inneren des Fahrzeugs angeordnet ist und die vorausliegende Umgebung durch die Windschutzscheibe erfasst. Zu sehen ist eine dreispurige Fahrbahn (51), z.B. eine Autobahn. Die Fahrspuren sind durch entsprechende Fahrspurmarkierungen getrennt. Auf allen drei Fahrspuren fahren Fahrzeuge. Das auf der eigenen Fahrspur vorausfahrende Fahrzeug (53) verdeckt möglicherweise weitere auf der eigenen Fahrspur befindliche vorausfahrende Fahrzeuge. Links der dreispurigen Fahrbahn befindet sich eine bauliche erhabene Begrenzung (52) zur Gegenfahrbahn. Rechts der dreispurigen Fahrbahn (51) befindet sich ein Rand- bzw. Standstreifen, der nach rechts von einer Leitplanke begrenzt wird, hinter der sich ein Waldgebiet anschließt. In einiger Entfernung vor dem eigenen Fahrzeug sind Schilderbrücken (54) zu erkennen, von denen eine die dreispurige Fahrbahn (51) überspannt.

[0061] Analog dem anhand von Fig. 4 beschriebenen Verfahren, kann diese Szene segmentiert werden. In Fig. 5b bis Fig. 5d sind Zellen (56) zu erkennen. In den Zellen sind Punktkorrespondenzen (55) dargestellt. Die Zuordnung einer Zelle (56) zu einem Segment ist über die Farbe des Zellrahmens bzw. der Punktkorrespondenzen (55) dargestellt. Fig. 5b zeigt den roten Kanal des segmentierten Bildes, Fig. 5c den grünen Kanal und Fig. 5d den blauen Kanal. Unterschiedliche Segmente wurden mit unterschiedlichen Farben versehen. Ein Segment, welches im Original grün ist, erstreckt sich über die untersten fünf bis sechs Zeilen (in Fig. 5b und Fig. 5d entsprechend weiss dargestellt und ohne Zellrahmen). Dieses Segment entspricht der Bodenebene, also der Oberfläche der Fahrbahn (51), auf der das eigene Auto fährt. Ein weiteres Segment ist in der Mitte des Bildes zu erkennen, im Original ist es pink. Daher weist es in Fig. 5b hohe Rotwerte auf, in Fig. 5d schwächere Blauwerte und in Fig. 5c keine Grünwerte. Dieses Segment entspricht der Rückwandebene des auf der eigenen Fahrspur vorausfahrenden (Transporter-)Fahrzeugs (53). Das gezeigte Segmentierungsergebnis wurde ohne Vorwissen über die Szene in nur drei Iterationsschritten ermittelt. Das zeigt die enorme Schnelligkeit und Leistungsfähigkeit einer Ausführungsform der Erfindung durch zeitliche Integration.

[0062] Fig. 6 zeigt eine Ermittlung der Orientierung von Ebenen in der bereits bei Fig. 5 beschriebenen Szene. Fig. 6a zeigt zur Orientierung nochmals die Umgebungssituation gemäß Fig. 5a. Sämtliche Korrespon-

denzen, die einer Seitenwandebene zugeordnet zeigt **Fig. 6b**. Die Korrespondenzen am linken Rand wurden einer rechten Seitenwandebene zugeordnet, was zutreffend ist, da dort im Bild die rechte Seite der baulichen Begrenzung (**52**) zur Gegenfahrbahn befindlich ist. Die Korrespondenzen in der rechten Bildhälfte wurden linken Seitenwandebenen zugeordnet, was ebenfalls zutreffend ist, da dort die „linke Seite“ der Fahrbahnrandbebauung bzw. -bepflanzung im Bild befindlich ist. **Fig. 6c** zeigt, welche Korrespondenzen einer Bodenebene zugeordnet werden, was zutreffend ist, da dort im Bild die Oberfläche der Fahrbahn (**51**) zu sehen ist.

[0063] **Fig. 6d** zeigt, welche Korrespondenzen einer Rückwandebene zugeordnet werden. Das ist weitestgehend zutreffend. Aus dieser Ermittlung alleine können unterschiedliche Rückwandebenen noch nicht hinreichend unterschieden werden, z.B. die von dem auf derselben Fahrspur vorausfahrenden Lieferwagen (**53**) von den im Bild darüber angeordneten Schildern der Schilderbrücke (**54**). Dieser Darstellung können aber bereits wichtige Hinweise entnommen werden, wo erhabene Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs auftreten.

[0064] Wie in **Fig. 7** veranschaulicht wird, kann zur Erkennung dynamischer Objekte die inverse TTC (t_x , t_y , t_z) verwendet werden. **Fig. 7a** zeigt wiederum das Bild der Fahrzeugsituation (identisch mit **Fig. 6a**). Das auf der eigenen Fahrspur vorausfahrende Fahrzeug (**73**) ist ein Lieferwagen. Auf der linken Spur fahren zwei Fahrzeuge (**71** und **72**) und auf der rechten Spur zwei weitere Fahrzeuge (**74** und **75**). **Fig. 7b** zeigt Korrespondenzen, die wiederum der Bodenebene entsprechen (im Original violett) und als einzige einen Rotanteil aufweisen. **Fig. 7c** zeigt Korrespondenzen, die bewegten Objekten zugeordnet werden. Diese sind im Original grün, wenn sie sich vom eigenen Fahrzeug entfernen (also schneller fahren) bzw. türkis, wenn sie langsamer fahren. **Fig. 7d** zeigt Korrespondenzen mit Blauanteil, also solche, die der Bodenebene entsprechen (vgl. **Fig. 7b**), bewegte Objekte, die sich dem eigenen Fahrzeug nähern (vgl. **Fig. 7c**) und solche, die statischen erhabenen Objekten entsprechen, diese sind nur in **Fig. 7d** dargestellt, wie z.B. Waldbereiche links und rechts der Autobahn und die Schilderbrücken. Aus **Fig. 7c** und **Fig. 7d** gemeinsam, ist zu erkennen, dass sich das Fahrzeug auf der eigenen Fahrspur (**73**) nähert. Dasselbe gilt für das vordere Fahrzeug auf der rechten Fahrspur (**75**). Dagegen entfernen sich die übrigen Fahrzeuge (**71**, **72** und **74**).

[0065] Der Bereich, der im Bild dem Himmel entspricht, führt mangels Struktur im Bild zu keinen Korrespondenzen (weiß in **Fig. 7b** bis **Fig. 7d**). Wird die Eigenrotation in den Korrespondenzen vor der Berechnung der Homographie berücksichtigt, bzw. wird die Eigenrotation in der Rotationsmatrix R berücksichtigt, lassen sich überholende Fahrzeuge aufgrund Ihrer negativen t_z Komponente erkennen bzw. ausscherende oder in einer Kurve fahrende Fahrzeuge durch eine laterale t_x Komponente ungleich Null erkennen. Werden die dynamischen Segmente über ihre Homographien prädiert (siehe unten „Verdichtung des optischen Flusses basierend auf Homographien“), kann über die Zeit eine dynamische Karte aufgebaut werden.

[0066] Betrachtet man Gleichung 3, erkennt man, dass Segmente mit einer inversen TTC gleich Null die Rotationsmatrix beschreiben und man kann sie durch Berechnung einer Homographie mit vollen Freiheitsgrad (Gleichung 2) aus Segmenten mit t/d gleich Null bestimmen. Geht man davon aus, dass sich die translatorische Komponenten in der Nähe des Epipols nicht bemerkbar machen, kann man die Pitch und Gierrate auch bestimmen, indem die Koordinaten des Epipols durch die Homographie statischer Segmente prädiert werden und der $\text{atan}((x_{e0} - x_{e1})/f)$ bzw. $\text{atan}((y_{e0} - y_{e1})/f)$ mit der auf einen Pixel bezogenen Brennweite berechnet wird.

[0067] Wird für jedes Cluster eine Homographie mit allen Freiheitsgraden berechnet, können diese auch zur Rekonstruktion der 3D Umgebung verwendet werden, indem anstelle der gemessenen Position x_{t0} , die prädierte Position H^*x_{t1} zur Triangulation verwendet wird. Dies reduziert nicht nur den Einfluss von Messfehlern, sondern ermöglicht es auch Objekte nahe des Epipols zu rekonstruieren.

[0068] Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel zur Verdichtung des optischen Flusses basierend auf Homographien beschrieben.

[0069] Ist die Segmentierung zum Zeitpunkt $t-1$ bekannt, kann sie sowohl zur Prädiktion der Objekte als auch zur Generierung eines dichten Flussfeldes verwendet werden. Signaturbasierte Flussverfahren erzeugen Signaturen und versuchen diese in aufeinanderfolgenden Frames eindeutig zuzuordnen. Meist werden die Signaturen aus einem Patch definierter Größe berechnet. Verändern sich jedoch Größe und Form eines Patches, ist eine Korrespondenzfindung mit einem festen Template nicht mehr möglich. (z.B. nähert man sich einer Back-Plane an, verändert sich die Größe eines Patches, bzw. bewegt man sich über eine einer Ground-Plane oder parallel zu einer Side-Plane, verändern sich sowohl Größe als auch Form eines Patches, siehe **Fig. 1** und **Fig. 2**). Ist die Segmentierung zum Zeitpunkt $t-1$ vorhanden, können die Homographien über bereits gefunden Flussvektoren neu berechnet und dazu verwendet werden die Position und Form bereits etablierter Korrespondenzen von $t-1$ auf $t-0$ zu prädiieren.

[0070] Alternativ lässt sich der aktuelle Frame zum Zeitpunkt t-0 auf den Zeitpunkt t-1 transformieren um Skalen und Form Änderungen zu kompensieren. **Fig. 8** veranschaulicht ein solches Vorgehen.

[0071] **Fig. 8a** zeigt ein Bild einer anderen Fahrsituation, das von der Fahrzeugkamera zu einem Zeitpunkt t-1 aufgenommen wurde. Zu sehen ist eine Autobahn mit drei Fahrspuren je Fahrtrichtung. Links der eigenen dreispurigen Fahrbahn befindet sich eine Leitplanke (**81**) als erhabene Begrenzung zur Gegenfahrbahn. Rechts der Fahrbahn befindet sich eine Lärmschutzwand (**82**).

[0072] **Fig. 8b** zeigt ein Bild, das zum darauffolgenden Zeitpunkt t aufgenommen wurde und über die Homographie der Leitplanke derart transformiert („gewarpt“, englisch: to warp) wurde, dass die infolge der Bewegung des Fahrzeuges und damit der Fahrzeugkamera zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten auftretenden Änderungen im Bild im Bereich der Leitplanke kompensiert werden. Die Vorwärtsbewegung des eigenen Fahrzeugs führt in **Fig. 8b** dazu, dass der naheliegendste Teilstrich der Fahrspurmarkierung näher am eigenen Fahrzeug ist als in **Fig. 8a**. Die Transformation führt zu der trapezförmigen Versetzung des Bildes, welche in **Fig. 8f** durch eine gestrichelte Linie veranschaulicht ist.

[0073] **Fig. 8c** zeigt nun korrespondierende Merkmale (**85**), die im Bereich der Leitplanke (**81**, vgl. **Fig. 8a**) ermittelt wurden, als weiße Punkte. **Fig. 8d** zeigt, wo diese korrespondierenden Merkmale im nächsten Bild zu erwarten sind (**86**), nachdem dieses wie zu **Fig. 8b** beschrieben transformiert worden ist.

[0074] In **Fig. 8e** und **Fig. 8f** ist dieser Sachverhalt nochmals in einer schwarz-weiß Darstellung gezeigt, wobei die korrespondierenden Merkmale (**85**) nun den schwarzen Punkten auf der Leitplanke (**81**) in der linken Bildhälfte entsprechen.

[0075] Zur Generierung eines dichten Flussfeldes kann also für jedes Segment das aktuelle Bild auf das vorherige Bild gewarpt werden, um bereits bestehende Korrespondenzen, die sich in ihrer Skale oder Form veränderte haben, wieder zu finden bzw. um neue Korrespondenzen mittels deckungsgleicher Templates zu etablieren.

[0076] Sind in einem aktuellen Frame nicht genügend Flussvektoren zur Neuberechnung einer Homographie vorhanden, lassen sich näherungsweise die Homographie aus dem letzten Frame verwenden um die Korrespondenzfindung robuster gegen Form und Skalenänderungen zu gestalten.

[0077] Folgende Ausgestaltungsformen bzw. -aspekte sind vorteilhaft und können einzeln oder in Kombination vorgesehen werden:

1. Das Bild wird in $N \times M$ Zellen unterteilt und den Punkt-Korrespondenzen einer Zelle wird eine eindeutige Zellen-ID zugewiesen. Aus den Korrespondenzen mit gleichen IDs werden mittels RANSAC die Back-/Ground- und Side-Plane-Homographien (Gleichung 9, 10 und 10) berechnet und sowohl die Homographie mit dem geringsten Rückprojektionsfehler, als auch die zur Berechnung der Homographie verwendeten Stützstellen gespeichert. Bei RANSAC (RANdom SAMple Consensus) Verfahren wird üblicherweise bei jeder Iteration eine minimale Anzahl an zufällig ausgewählten Korrespondenzen verwendet, um eine Hypothese zu bilden. Für jedes Merkmal wird anschließend ein Wert berechnet, der beschreibt, ob das Merkmal die Hypothese unterstützt. Wenn die Hypothese eine hinreichende Unterstützung durch die Merkmale erreicht, können die nicht-unterstützenden Merkmale als Ausreißer verworfen werden. Andernfalls wird erneut eine minimale Anzahl an Korrespondenzen zufällig ausgewählt.
2. Für benachbarte Zellen i, j werden die Rückprojektionsfehler $\sum x_{t_0}^i - H_j x_{t_1}^i$ bzw. $\sum x_{t_0}^j - H_i x_{t_1}^j$ über die Stützstellen der benachbarten Homographie berechnet. Ist der Rückprojektionsfehler $\sum x_{t_0}^i - H_j x_{t_1}^i$ kleiner $\sum x_{t_0}^j - H_i x_{t_1}^j$ bzw. unterschreiten die Fehler eine auf die Flusslänge normierte Schwelle, werden die IDs zusammengefasst und die Homographien neu berechnet.
3. Die Rückprojektionsfehler $\sum x_{t_0} - H_i x_{t_1}$ sämtlicher Punkt-Korrespondenzen werden für die angrenzenden Segmente berechnet und eine Punkt-Korrespondenz wird dem Segment mit geringstem Rückprojektionsfehler zugeordnet. Überschreitet der minimale Fehler eine Schwelle, werden die Korrespondenzen mit einer neuen Objekt ID versehen um auch kleinere bzw. teilverdeckte Objekte erkennen zu können.
4. Die Homographien der zum Zeitpunkt t-1 extrahierten Segmente werden zu Beginn eines neuen Frames über die bereits gefunden Bild Korrespondenzen neu berechnet und die bereits bestehenden Segment IDs in den aktuellen Frame prädiert. Sind im aktuellen Frame nicht genügend Flussvektoren zur Neuberechnung einer Homographie vorhanden, lassen sich näherungsweise die Homographien aus dem letzten Frame verwenden.

5. Zur Generierung eines dichten Flussfeldes wird für jedes Segment der aktuelle Frame auf den letzten Frame gewarpt um bereits bestehende Korrespondenzen, die sich in ihrer Skala oder Form veränderte haben, wieder zu finden bzw. um neue Korrespondenzen zu etablieren.
6. Die Rückprojektionsfehler der Back-/Ground- und Side-Plane können zur Validierung erhobener Ziele verwendet werden, siehe **Fig. 6**.
7. Ist z.B. bei einer Fahrzeugstereokamera eine Disparitätskarte vorhanden, können die absoluten Geschwindigkeiten aus der inversen TTC t/d berechnet werden, da dann die absoluten Entfernungen d für einzelne Pixel in der Disparitätskarte vorliegen.
8. Wird für jedes Segment eine vollständige Homographie mit allen Freiheitsgraden berechnet, kann aus Segmenten mit einer TTC nahe unendlich (bzw. inverse TTCs annähernd Null) die Rotationsmatrix R bestimmt werden.
9. Die 3D-Umgebung kann aus der prädizierten Position (Hx_{t1}, x_{t1}) anstelle der gemessenen Position (x_{t0}, x_{t1}) rekonstruiert werden und erlaubt es auch Objekte am Epipol zu rekonstruieren.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 2993654 A1 [0003]
- US 2014/0161323 A1 [0004]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Tutorial: Multiple View Geometry, Hartley, R. and Zisserman, A., CVPR June 1999: <https://de.scribd.com/document/96810936/Hartley-Tut-4up> abgerufen am 26.09.2016 [0045]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion von Objekten aus einer Folge von Bildern einer Fahrzeugkamera umfassend die Schritte:

- a) Aufnahme einer Folge von Bildern mit der Fahrzeugkamera,
- b) Ermittlung von korrespondierenden Merkmalen in zwei aufeinander folgenden Bildern,
- d) Zuordnung ermittelter korrespondierender Merkmale in einem Bildbereich zu einer Ebene im Raum, und
- f) Bestimmung zusätzlicher korrespondierender Merkmale in dem Bildbereich unter Berücksichtigung der zugeordneten Ebene.

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend den Schritt:

- c) Berechnung von Homographien für die ermittelten korrespondierenden Merkmale in einem Bildbereich, damit diese einer Ebene im Raum zugeordnet werden können.

3. Verfahren nach Anspruch 2, umfassend die Schritte:

- d2) Zuordnung der ermittelten korrespondierenden Merkmale zu einer von einer Mehrzahl von Ebenen vorgegebener Orientierung im Raum, und
- e) Zuordnung zu der Ebene im Raum, die für die ermittelten korrespondierenden Merkmale den kleinsten Rückprojektionsfehler ergibt, wobei der Rückprojektionsfehler den Unterschied an zwischen der gemessenen Korrespondenz eines Merkmals in zwei aufeinanderfolgenden Bildern und dem aus der berechneten Homographie prädierten Korrespondenz des Merkmals angibt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend den Schritt:

- d3) Zuordnung der ermittelten korrespondierenden Merkmalen in einem Bildbereich zu jeweils einer Bodenebene, einer Rückwandebene oder einer Seitenwandebene.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die mindestens eine Rückwandebene berechnet wird nach

$$\begin{bmatrix} x_0c - a \\ y_0c - b \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_1 & 0 & x_1x_0 \\ 0 & -x_1 & x_1y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

wobei a, b, c Konstanten sind, x_0, y_0, x_1, y_1 Korrespondenzen im ersten Bild (Index 0) und zweiten Bild (Index 1) und t_x, t_y, t_z , die Komponenten des Vektors t/d sind. t beschreibt die Translation der Fahrzeugkamera und d die Entfernung zu einer Ebene.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei die mindestens eine Bodenebene berechnet wird nach

$$\begin{bmatrix} x_0c - a \\ y_0c - b \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -y_1 & 0 & y_1x_0 \\ 0 & -y_1 & y_1y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

7. Verfahren nach Anspruch 4, 5 oder 6, wobei die mindestens eine Seitenwandebene berechnet wird nach

$$\begin{bmatrix} x_0c - a \\ y_0c - b \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & x_0 \\ 0 & -1 & y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ausgehend von einer ermittelten Aufteilung eines Bildes in unterschiedliche Bildbereiche mit zugeordneten Ebenen für ein zweites Bild, werden erste einander korrespondierende Merkmale in einem Bildbereich im zweiten und einem nachfolgenden dritten Bild bestimmt, aus diesen ersten korrespondierenden Merkmalen wird eine Homographie für diesen Bildbereich neu berechnet, und die neu berechnete Homographie wird dazu verwendet, die Position und Form zusätzlicher korrespondierender Merkmale im dritten Bild zu präzisieren.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei falls in einem nachfolgenden dritten Bild in einem Bildbereich nicht genügend erste korrespondierende Merkmale zur Neuberechnung einer Homographie bestimmbar sind, die für den Bildbereich berechnete Homographie aus dem zweiten Bild dazu verwendet

wird, die Position und Form zusätzlicher korrespondierender Merkmale des Bildbereichs im dritten Bild zu präzisieren.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur für jeden Bildbereich mit einer zugeordneten Ebene ein aktuelles Bild auf ein vorheriges Bild entsprechend der berechneten Homographie gewarpt wird, um zusätzliche einander im letzten und im aktuellen Bild korrespondierende Merkmale zu bestimmen.

11. Vorrichtung zur Detektion von Objekten aus einer Folge von Bildern einer Fahrzeugkamera umfassend: ein Kamerasteuergerät, welches dazu ausgebildet ist,
a) eine Folge von Bildern mit der Fahrzeugkamera aufzunehmen;
und eine Auswerteelektronik, welche dazu ausgebildet ist,
b) korrespondierende Merkmale in einem Bildbereich in zwei aufeinander folgenden Bildern zu ermitteln,
d) ermittelte korrespondierende Merkmale in einem Bildbereich zu einer Ebene im Raum zuzuordnen, und
f) zusätzliche korrespondierende Merkmale in dem Bildbereich unter Berücksichtigung der zugeordneten Ebene zu bestimmen.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

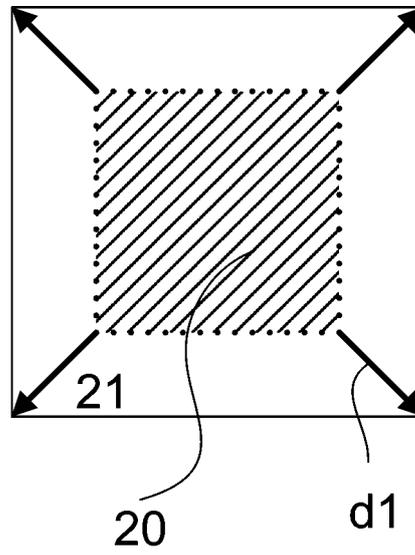


Fig. 1

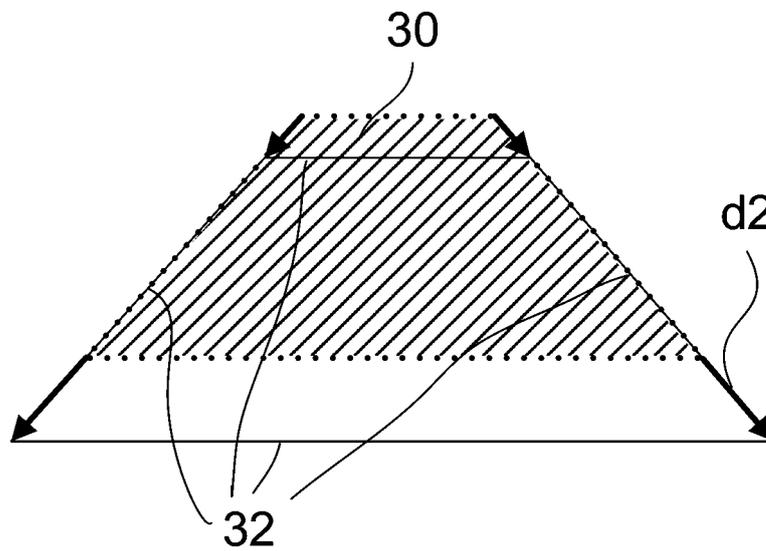


Fig. 2

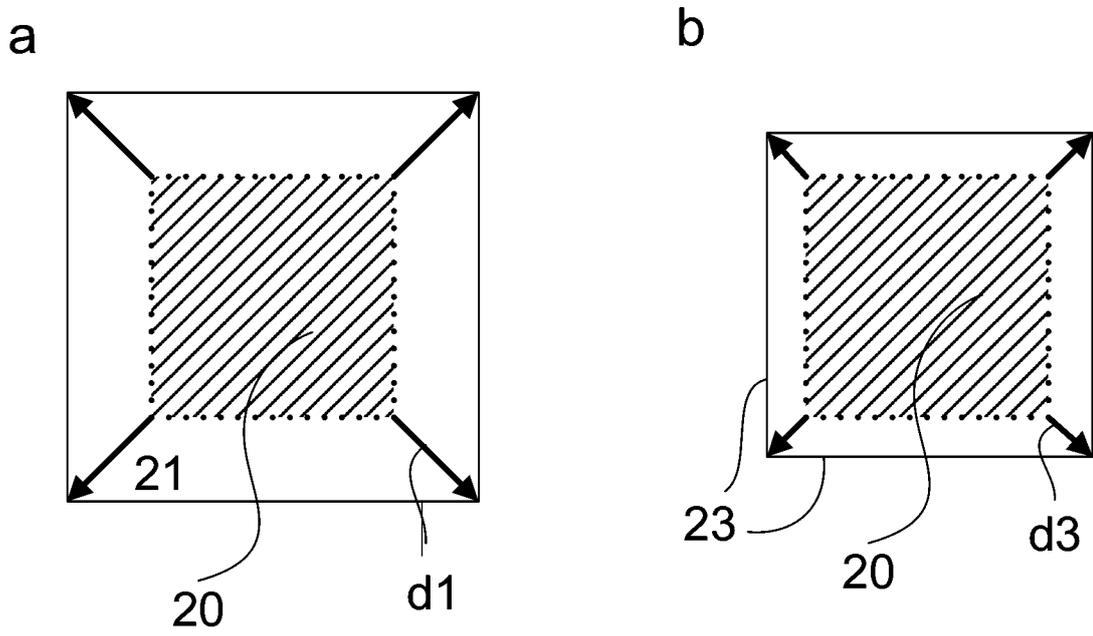


Fig. 3

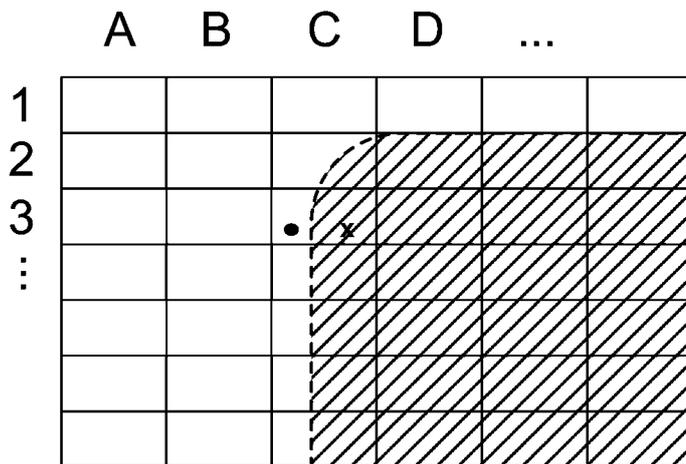


Fig. 4

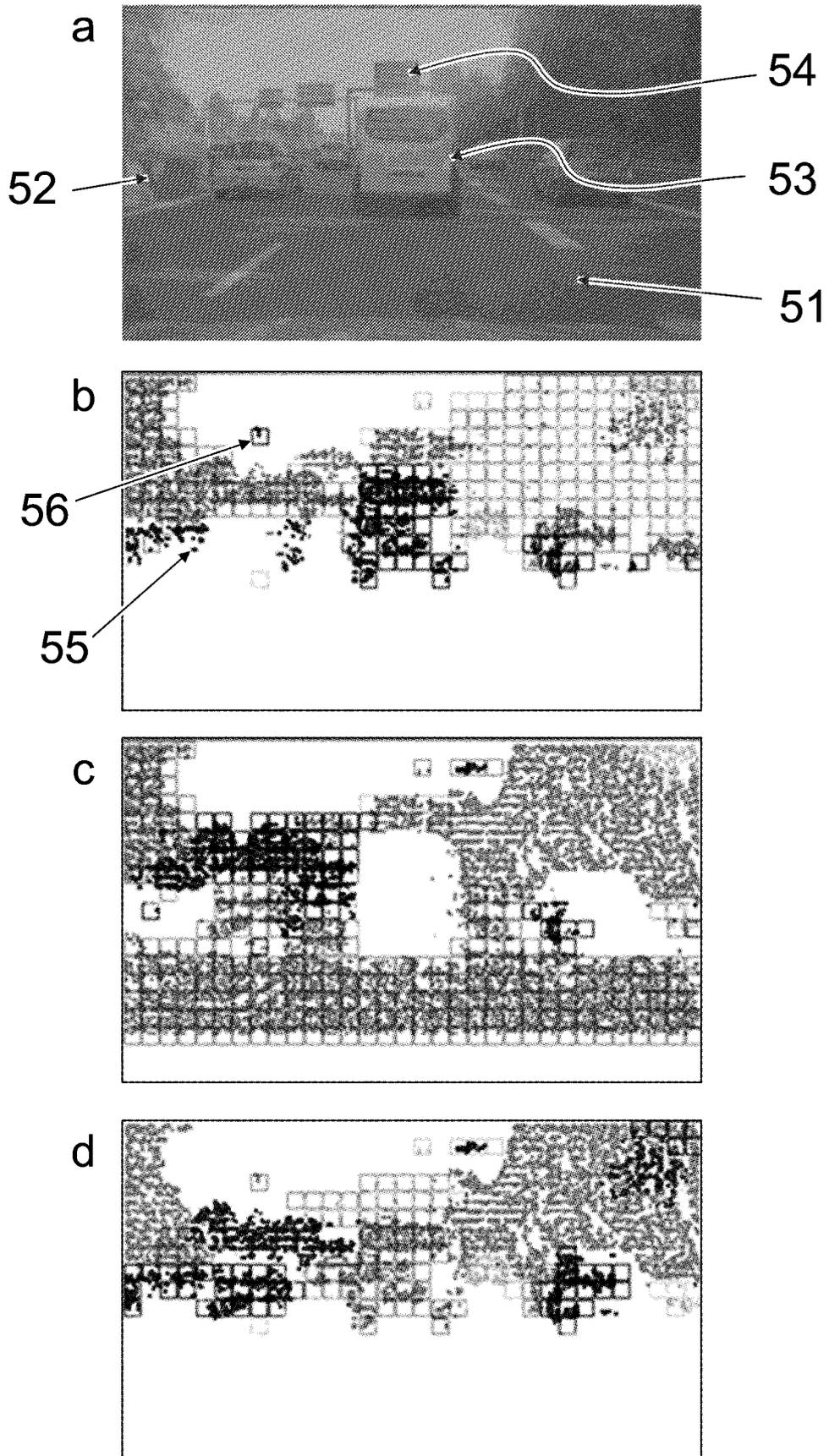


Fig. 5

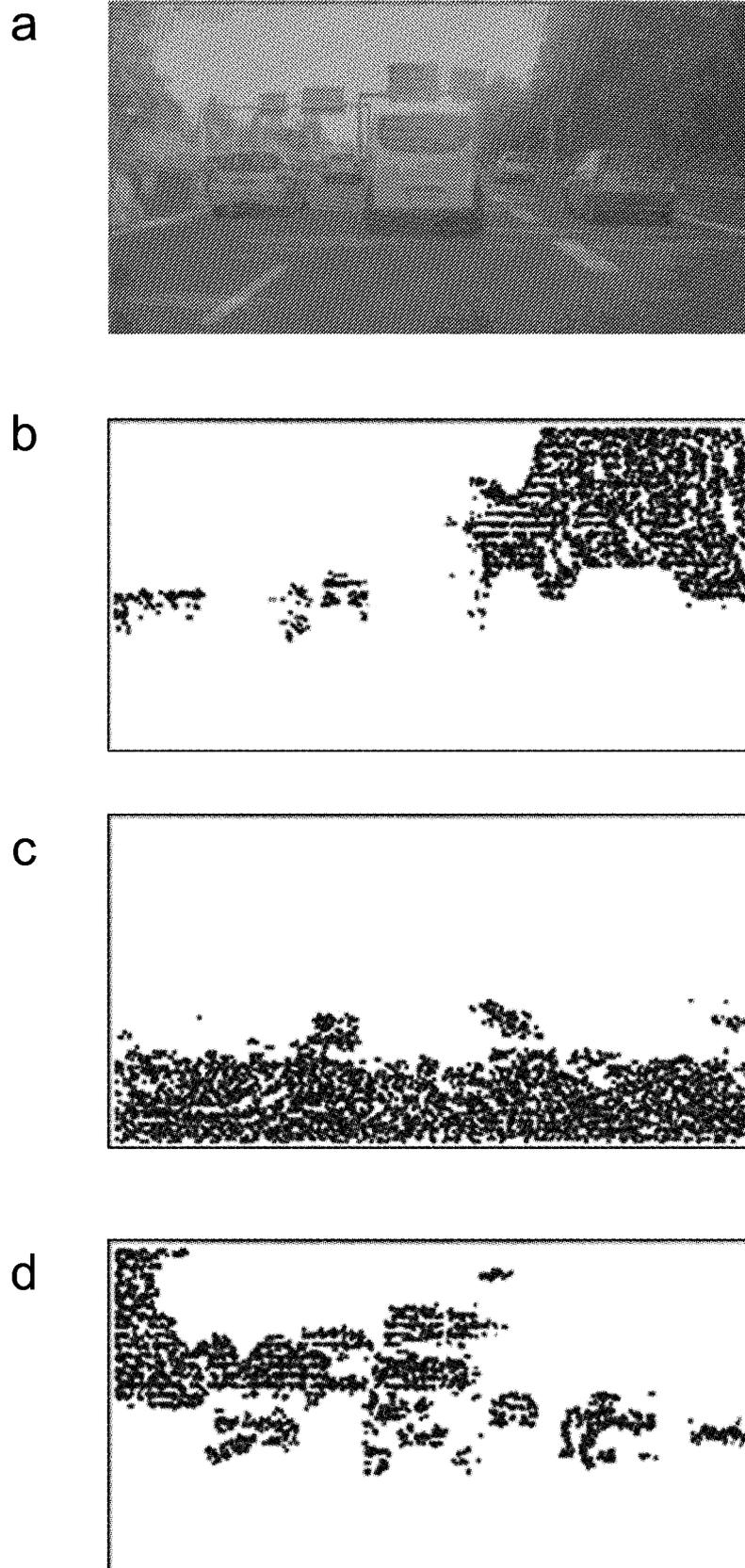


Fig. 6

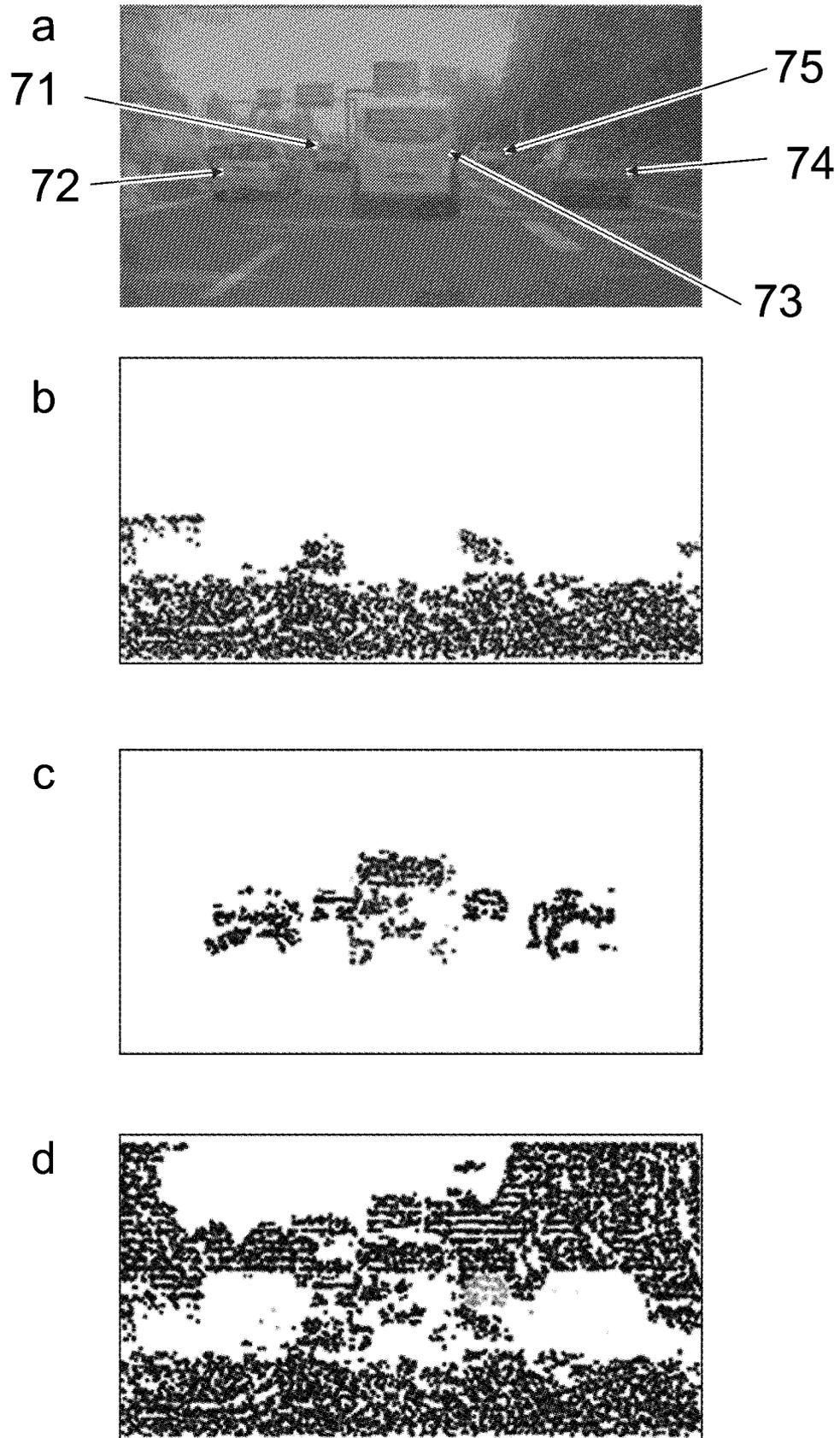


Fig. 7

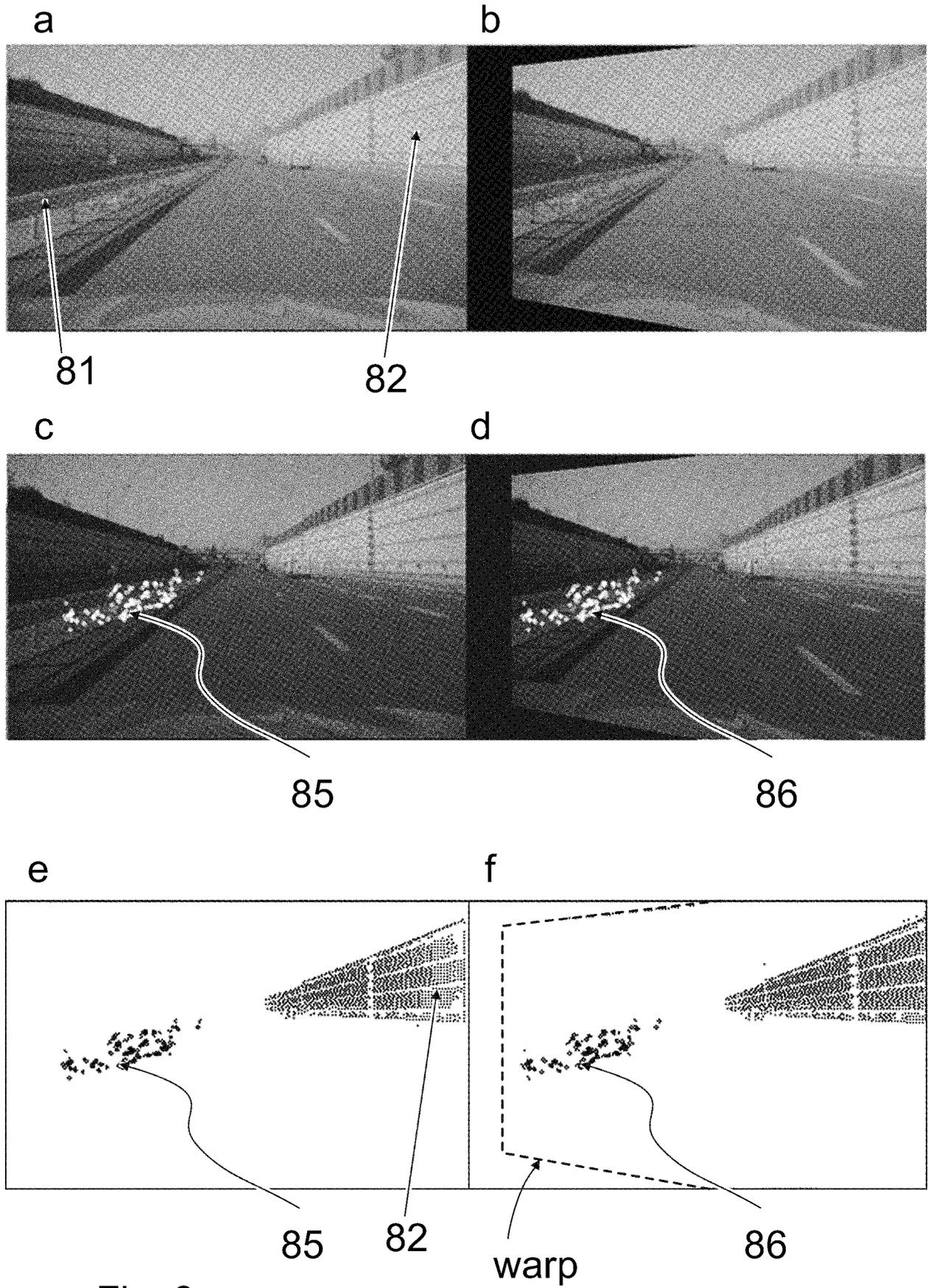


Fig. 8